

УДК 66.099.2-936.43.001.57

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ ВИХРОВОГО ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ В МАЛОГАБАРИТНИХ МАСООБМІННИХ АПАРАТАХ

А.Є. Артюхов, В.М. Маренок, В.І. Склабінський

На базі захищених патентів України розроблено експериментальний зразок вихрового гранулятора з метою дослідження умов формування вихрового шару та впливу різних технологічних і конструктивних параметрів на рух фаз в його робочій камері. В результаті експериментальних досліджень одержано графічні залежності гідродинамічних параметрів потоку по перетину робочої камери вихрового гранулятора з додатковою візуалізацією даних за допомогою відео.

ВСТУП

Значна частина тепломасообмінних та реакційних процесів хімічної технології (сушіння, каталітичні реакційні процеси, гранулювання та ін.) відбувається в дисперсній системі «газ-тверді частки-кращинна рідина». Аналіз існуючих сучасних виробництв хімічної, нафтохімічної, харчової, фармацевтичної, та суміжних галузей [1,2] показує, що для здійснення вищевказаних процесів в основному використовується обладнання баштового, барабанного, трубчастого типу та інші. Найбільшою інтенсивністю тепломасообмінних процесів та найменшими габаритними розмірами при еквівалентному навантаженні відрізняються апарати псевдозрідженого шару [3].

Підвищення якості обробки сировини та збільшення питомих потужностей технологічних установок викликає необхідність створення високопродуктивних способів та високоефективних малогабаритних пристроїв для переробки матеріалу шляхом покращення гідродинамічних умов протікання технологічних процесів та удосконалення окремих елементів в конструкції апаратів псевдозрідженого шару, дозволяючи проводити тепло- і масообмін в інтенсивному режимі без збільшення витрат на матеріальні, трудові та енергетичні ресурси [4].

ПОСТАВЛЕННЯ ЗАВДАННЯ

Згідно тематично плану науково-дослідних робіт за темою «Дослідження вихрових грануляційних та масотеплообмінних пристроїв», що проводяться в межах дослідницької лабораторії кафедри "Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв" Сумського державного університету розроблено нові перспективні методи та обладнання для проведення масообмінних процесів, зокрема, гранулювання.

Питання впровадження грануляційної апаратури, функціонування якої базується на використанні основних закономірностей закручених вісесиметричних потоків, на даний час є відкритим внаслідок відсутності чіткого математичного опису та набуті експериментальної бази. Створені теоретичні передумови щодо застосування вихрових апаратів [5,6], проведено окремі дослідження на експериментальних зразках вихрових грануляторів [7,8], розроблено алгоритм чисельного розрахунку гідродинамічних характеристик фаз, що приймають участь в процесі гранулоутворення [9]. Але вищезазначені етапи вивчення апаратів з закрученими потоками не зведені до цілісної картини опису протікання процесів тепломасообміну та основних закономірностей гранулоутворення.

Аналіз основних методів гранулоутворення [1] виявив наступні тенденції підвищення ефективності масообмінних пристроїв:

- оптимальна форма робочого простору гранулятора та його конструктивних елементів;
- характеристика умов створення вихрового киплячого шару;
- особливості циркуляції технологічних потоків.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для вивчення та аналізу методів інтенсифікації процесу гранулювання створено експериментальну технологічну схему безбаштового гранулювання з використанням дослідного зразка вихрового гранулятора, яку наведено на рисунку 1.

Принцип дії запропонованої технологічної схеми наступний.

Повітря з навколишнього середовища через забірник засмоктується за рахунок створюваного зрідження радіальним вентилятором високого тиску та подається до електрокалорифера, де відбувається його нагрівання до температури, передбаченої технологічним процесом гранулоутворення. За рахунок енергії, що отримана при проходженні радіального вентилятора, нагріте повітря по трубопроводу надходить до робочого простору вихрового гранулятора та приймає участь у створенні киплячого шару гранул.

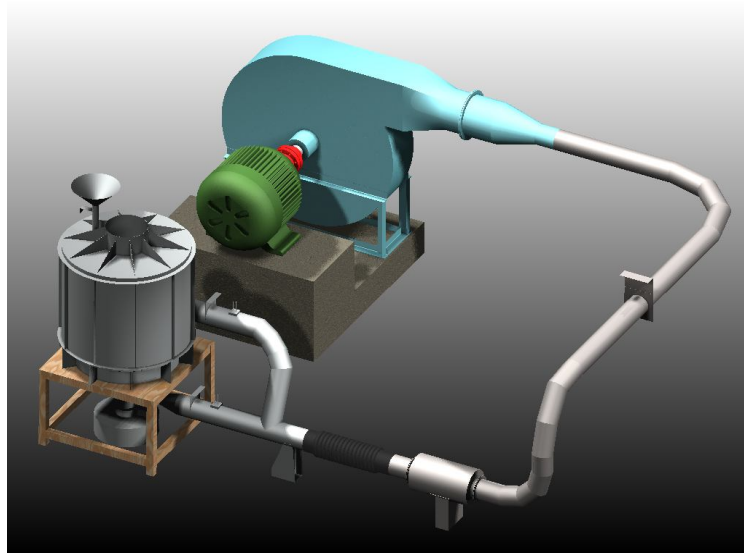


Рисунок 1 – Експериментальний стенд вихрового псевдозрідженого шару для отримання гранульованих продуктів (спрощено)

З метою створення розплаву до витратної ємності надходить рідина з системи водопостачання. З витратної ємності рідина надходить до бункера, куди одночасно подається тверда фаза для створення розплаву (гранули нетоварної фракції, подрібнені відходи і таке інше). За рахунок теплової енергії парогенератора, змішувик якого знаходиться в об'ємі бункера, створюється розплав. За допомогою заглибленого насоса розплав по трубопроводу надходить до розпилювача, що знаходиться у верхній частині експериментального зразка вихрового гранулятора. Розпил здійснюється за допомогою компресора.

Гранули ретурна надходять до робочого простору вихрового гранулятора з бункера.

На рисунку 2 наведені фото, 3D-модель та робоче креслення основного технологічного обладнання – дослідного зразка вихрового гранулятора

псевдозрідженого шару.

Розроблений зразок вихрового гранулятора має декілька особливостей, що виділяють його серед існуючого на даний час грануляційного обладнання та сприяють підвищенню ефективності процесів тепломасообміну.

По-перше, це можливість швидкої заміни окремих конструктивних вузлів гранулятора з метою пристосування до конкретних заданих умов протікання процесу та вимог до характеристики кінцевої продукції (наприклад, конфігурація робочого простору гранулятора та пристрої для розподілення головного потоку теплоносія на висхідну та тангенціальну складові).

По-друге, це широкий спектр методів створення направленого руху газового потоку від класичного псевдозрідженого шару до його різновидів (фонтануючий, вихровий, комбінація різних конфігурацій псевдозрідженого шару в межах однієї робочої зони з можливістю їх постійного регулювання та зміни) за допомогою набору газорозподільних пристроїв та направляючих апаратів.

По-третє, це об'єднання декількох способів гранулоутворення при збереженні мінімальних габаритних розмірів апарату та надання йому переваг кожного із способів, що мають застосування під час процесу отримання гранульованого продукту.

Ця розробка дозволяє вирішити поставлену мету досліджень вихрового псевдозрідженого шару саме на підставі не окремих, а взаємопов'язаних серій експериментальних досліджень. Кожне з цих досліджень органічно доповнює одне одного та створює цілісне представлення про закономірності гранулоутворення у закрученому газовому потоці теплоносія та гідродинамічних особливостей існування усталеного вихрового руху гранул. Стає можливим також запропонування подальших рекомендацій що до промислового використання технології безбаштового гранулювання в малогабаритних вихрових апаратах зі змінною площею перетину робочої зони.

Запропонований авторами двоступеневий контроль зміни технологічних характеристик одно-, двох-, і трьохфазного вісесиметричного потоку в межах робочої порожнини пристрою з використанням стандартних засобів контролювання параметрів процесу (швидкість руху, витрата, тиск та ін.) та технологій сучасних цифрових засобів візуального спостереження за протіканням процесу гранулоутворення дозволить не тільки кількісно, але й якісно оцінити вплив зміни технологічних та конструктивних характеристик в процесі експерименту. Візуалізація результатів дослідження в такому разі стає більш повною та вичерпною. Це стає основою подальшого всебічного глибокого аналізу проблеми, що розглядається в даній роботі.

Були проведені теоретичні дослідження гідродинаміки потоків у вихровому грануляторі з метою виявлення впливу конструктивних особливостей апарата, навантаження по газовій та твердій фазі на структуру псевдозрідженого шару, виявлення недоліків прийнятих конструктивних рішень, оптимізації конструкції гранулятора, розробки методики інженерного розрахунку.

Для співставлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень та виявлення відмінностей та особливостей гідродинаміки робочого простору розробленого апарату від класичних апаратів з псевдозрідженим шаром, з ряду програмних продуктів, в основу яких закладено вирішення відомих рівнянь гідроаеромеханіки, обраний пакет FlowVision 2003 demo [14].

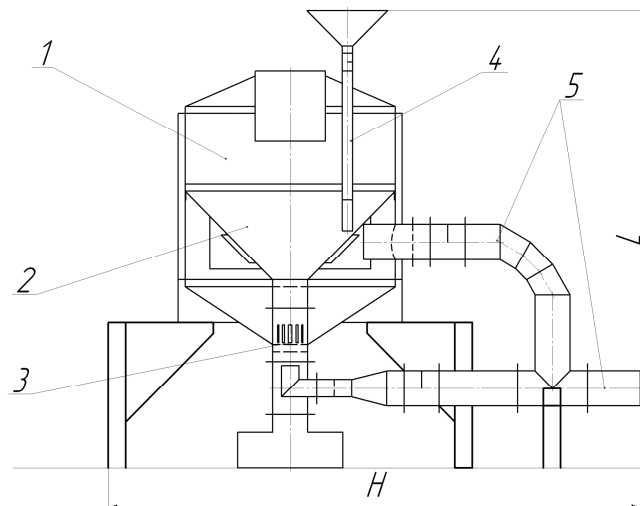


Рисунок 2 – Дослідний зразок вихрового гранулятора: 1 – робочий простір апарата; 2 – внутрішній конус; 3 – газорозподільний пристрій; 4 – подача ретур; 5 – трубопроводи для створення тангенційного та висхідного потоків повітря.

РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті проведення теоретичних досліджень гідродинаміки робочого простору вихрового гранулятора були отримані результати наведені на рисунках 3-5.

Як видно з ілюстрацій поля швидкостей газового потоку в характерних перетинах вихрового гранулятора, швидкість руху потоку більше, ніж у звичайному апараті псевдозрідженого шару, але при цьому застосування саме вихрового псевдозрідженого шару дозволяє без збільшення уносу часток значно збільшити швидкості газової фази. Інтенсифікація гідродинаміки псевдозрідженого шару безпосередньо впливає на інтенсифікацію тепло – масообмінних процесів, що протікають між газовою, рідкою та твердою фазами у грануляторі. В свою чергу це дозволяє зменшити габарити грануляційного обладнання.

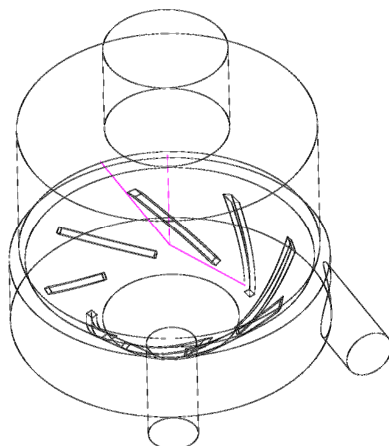


Рисунок 3 – Розрахункова схема вихрового гранулятора для програмного продукту FlowVision 2003 demo

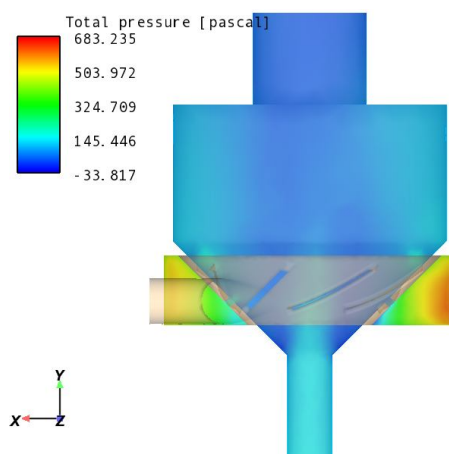


Рисунок 4 – Візуалізація даних по характеру зміни тиску в робочому просторі апарата

Результати, отримані при проведенні теоретичних досліджень були підтвердженні відповідними експериментальними дослідженнями. Створена експериментальна установка має широкі можливості, щодо дослідження гідродинаміки одно – двох та трьох фазного потоків при різноманітних варіантах способів закрутки псевдозрідженого шару, конфігурації внутрішнього робочого простору. Це дозволило провести широку серію експериментів, що значно доповнили результати теоретичних

досліджень, та дозволили скорегувати математичну модель з урахуванням результатів отриманих при проведенні експериментів.

Визначено характерні риси функціонування кожного з різновидів псевдозрідженого шару при зміні навантажень по газовій та твердій фазах та зміні співвідношення тангенційної та висхідної складових газового потоку. На приведених фото чітко спостерігаються характерні зони вихрового псевдозрідженого шару (периферія робочого об'єму вихрового гранулятора) та зони фонтануючого шару (центральна частина робочого об'єму пристрою). Це дає змогу установити та спрогнозувати поведінку крапель, що надходять в робочий простір пристрою з розпилювача, та твердих часток (гранул), що знаходяться в об'ємі апарата та виконують функцію центрів кристалізації.

Спираючись на результати візуального спостереження, стає можливим визначити траєкторію руху часток в кожній зоні гранулятора та в цілому в робочому просторі. Використання цих висновків дозволить встановити час перебування гранул в апараті та спрогнозувати оптимальний відрізок часу, при якому процес кристалізації та сушіння проходить в повній мірі, не пошкоджуючи структуру гранули.

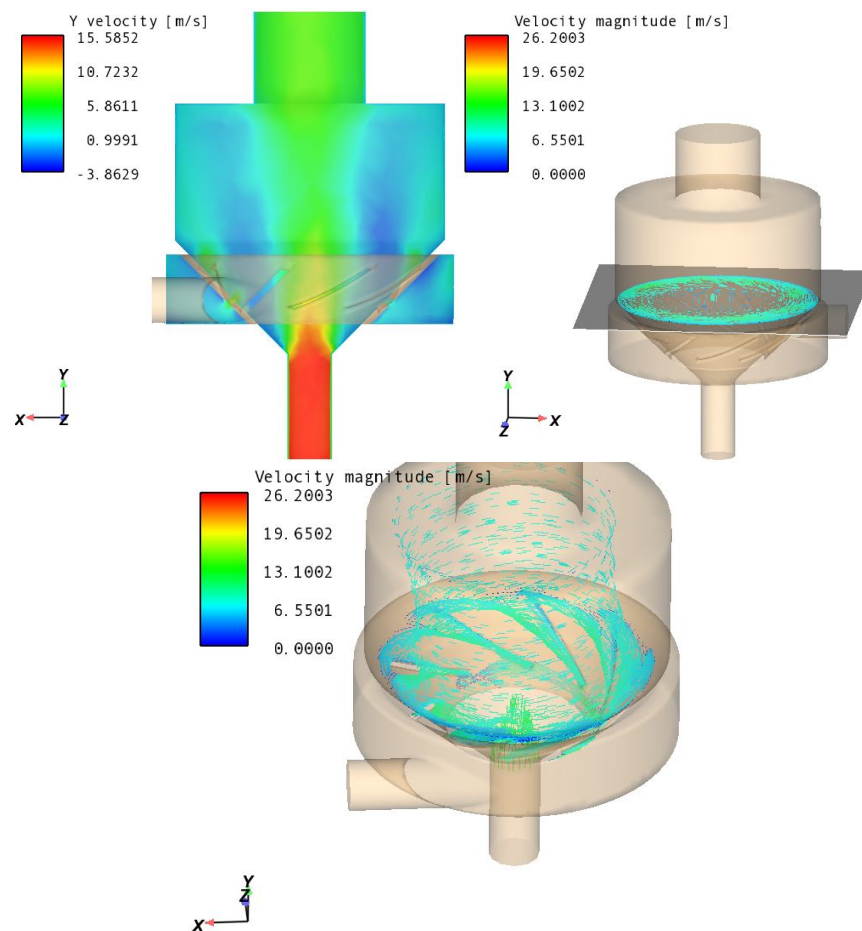


Рисунок 5 - Результати розрахунку поля швидкостей потоку в різних перетинах робочого об'єму вихрового гранулятора

Характер зміни конфігурації псевдозрідженого шару від вихрового до фонтануючого наведено на рисунку 6, а-г.

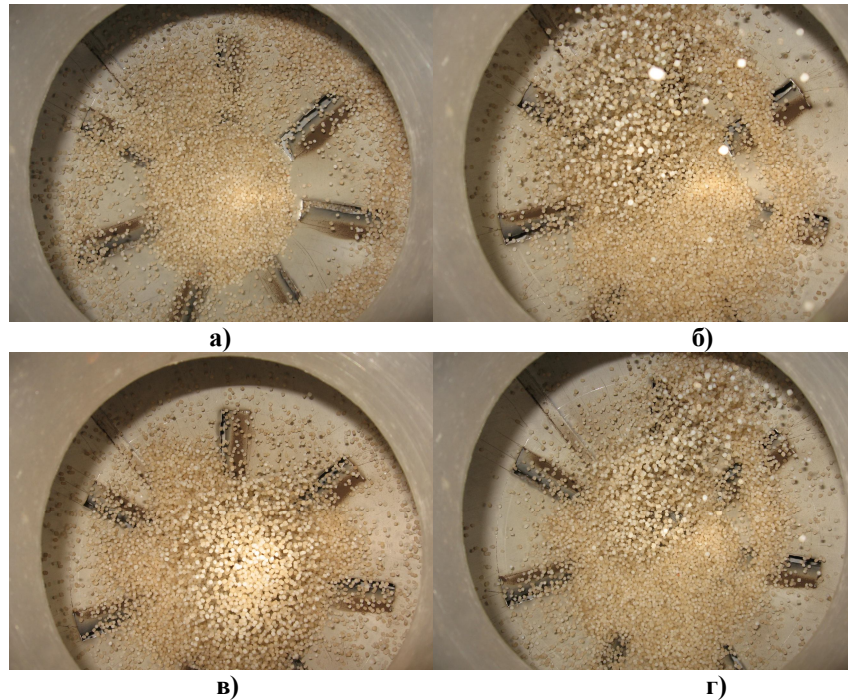


Рисунок 6 – Конфігурація псевдозрідженого шару в робочому просторі вихрового гранулятора в залежності від співвідношення витрат на створення висхідного та тангенційного потоку повітря:

а) інтенсивний вихровий псевдозріджений шар; б), в) комбінований псевдозріджений шар з елементами фонтануючого та вихрового типу невеликої інтенсивності; г) інтенсивний комбінований псевдозріджений шар (вихід на робочий режим).

Співставлення результатів фізичного та математичного моделювання показало, що загальна картина руху гранул в робочому просторі вихрового гранулятора відповідає векторному полю швидкостей потоку, отриманого за допомогою програмного продукту FlowVision 2003 demo (рисунок 5). Визначено характерні зони зворотного вихрового руху, що відповідає дійсності та спостерігається при виході гранулятора на робочий режим. В той же час, виявлено окремі зони руху гранул, де основні гідродинамічні характеристики відмінні від отриманих комп'ютерним моделюванням. Така картина пояснюється тим, що в існуючих математичних моделях, які закладені в основу програмних продуктів, зокрема в FlowVision 2003 demo, не розроблено модель руху часток з урахуванням особливостей гідродинаміки вихрового псевдозрідженого шару, що сприяє визначенню особливостей руху гранул та адаптації основних рівнянь гідродинаміки для конкретного процесу та типу апарату. Саме за таких умов стає можливим комплексний опис гідродинаміки робочого об'єму вихрового гранулятора.

ВИСНОВКИ

Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити оптимальні технологічні режими функціонування роботи гранулятора, визначити перспективні напрямки подальшого дослідження можливостей застосування вихрового псевдозрідженого шару для проведення інших технологічних процесів у псевдозрідженому шарі між газовою рідкою та твердою фазами.

З використанням результатів проведеної роботи створена та захищена патентами [10-13] високоефективна конструкція вихрового гранулятора, яка об'єднує у собі

новітні науково-технічні рішення, які не мають аналогів в вітчизняній практиці, а наступне її застосування дозволить приступити до створення промислових виробництв гранульованої продукції з забезпеченням її необхідних фізико-хімічних та експлуатаційних характеристик.

SUMMARY

On the base of the protected patents of Ukraine the experimental false boiling vortex layer granulator is created with the purpose of research of terms of vortex layer forming and opinion of various technological and structural factors influencing on movement of phases in the working chamber of this device. As a result of experimental researches conducting the graphic dependences of hydrodynamic parameters of stream after crossing of false boiling vortex layer granulator working chamber of with additional visualization as video data.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. Гранулирование. - М.: Химия, 1991. - 240 с.
2. Генералов М.Б., Классен П.В., Степанова А.Р., Шомин И.П. Расчёт оборудования для гранулирования минеральных удобрений М.: Машиностроение, 1984.-192 с., ил.
3. Холин Б.Г. Центробежные и вибрационные грануляторы плавов и распылители жидкости. М.: Машиностроение, 1977. – 182 с
4. В.И.Склабинский, А.Е.Артюхов. Вопросы энергосбережения при внедрении в производство малогабаритного грануляционного оборудования // “Вісник СумДУ”, №5 (89) 2006. – с 76-79.
5. Маренок В.М., Склабинский В.И. Вихревой псевдооживленный слой и его практическое применение // Физика аэродисперсных систем, №2 2004. – с. 86-93
6. Артюхов А.Є. Теоретичні основи дослідження руху газового потоку у вихровому грануляторі // Збірник тез доповідей ХХІІ-й наукової конференції країн СНД "Дисперсные системы" – Одеса, 18-22 вересня 2006 р – с. 40-41.
7. В.І.Склабинський, А.Є.Артюхов. Малогабаритні апарати змінного перетину з вихровим псевдозрідженим шаром. Вплив розподільних пристроїв на рух гранул // Хімічна промисловість України. — 2006. — №2(73). — с. 55-59.
8. Парьохін А.В., Склабинський В.І. Вплив гідродинаміки потоку теплоносія на рух гранул у вихровому грануляторі // Хімічна промисловість України 2002. № 2. С. 35-38.
9. А.Е. Артюхов, В.И.Склабинский. Математическое моделирование процесса движения гранул в вихревых аппаратах с малой высотой рабочей камеры // “Вісник СумДУ”, №12 (96) 2006. – с 5-11.
10. Пат. № 69624 UA МКІ В01J2/16 Спосіб гранулювання розплавів, розчинів і суспензій і пристрій для його здійснення/ В.І. Склабинський, В.М. Маренок, М.О Кочергін. – 2004
11. Патент України. Заявка №а 200608137 від 20.07.2006, МПК 7 В 01 J2/16. Спосіб гранулювання рідкого матеріалу та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Склабинський В.І.
12. Патент України. Заявка №а 200512066 від 15.12.2005, МПК 7 В 01 J2/16. Спосіб гранулювання рідкого матеріалу та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Склабинський В.І., Стеценко А.С.
13. Артюхов А.Є. Новітнє грануляційне обладнання. Вихровий гранулятор з вібраційним розпилом розплаву // Наукові праці ОНАХТ. – 2006. – Випуск 28, Т.2. – с. 24-27.
14. COSMOSFloWorks / SolidWorks Corporation COSMOS Analysis Products (Fluid Flow Simulation Software). — 2005. — <http://www.solidworks.com/pages/services/COSMOS/>.

Артюхов, А.Є. Дослідження умов формування вихрового псевдозрідженого шару в малогабаритних масообмінних апаратах [Текст] / А.Є. Артюхов, В.М. Маренок, В.І. Склабинський // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. - 2007. - №3. - С. 10-17.